

证 明

本证明之附件是向本局提交的下列专利申请副本

申 请 日： 2003. 07. 08

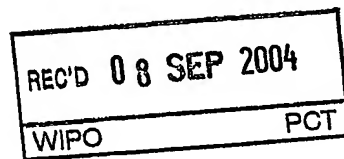
申 请 号： 03132014. 7

申 请 类 别： 发明

发明创造名称： 量子网络寻址方法及量子网络路由器

申 请 人： 中国科学技术大学

发明人或设计人： 韩正甫、张涛、郭光灿



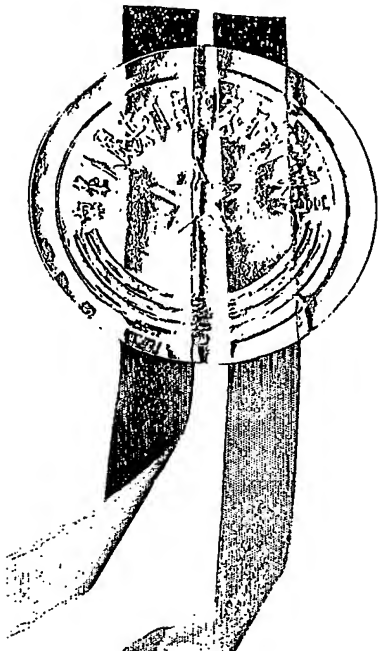
**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

中华人民共和国
国家知识产权局局长

王景川

2004 年 7 月 9 日

BEST AVAILABLE COPY



权 利 要 求 书

1、一种量子网络寻址方法，网络中包括至少三个节点，其特征在于：给定每个节点一个地址编号；从每个节点向其它各个节点发送不同波长的光子信号；该光子信号以信号源波长和节点地址共同作为寻址标记；所述的寻址标记由两部分构成，其中一部分由该节点发送的光子信号的波长取值决定，另一部分由该节点的地址编号决定；每个节点根据所接收的光子信号中的上述寻址标记确定该信号的来源。

2、根据权利要求 1 所述的量子网络寻址方法，其特征在于当网络节点数为奇数时，所述的信号源波长的个数为 N 个；当网络节点数为偶数时，所述的信号源波长的个数为 $N-1$ 个；其中的 N 为网络节点数。

3、根据权利要求 1 所述的量子网络寻址方法，其特征在于所述的光子信号是光量子态信号，或者是经典光信号。

4、一种用于权利要求 1 的量子网络路由器，包括外接口和光子信号分配器，其特征在于光子信号分配器包括 N 组光学器件，其中的 N 为网络节点数；每个光学器件的一端为混合波长接口、另一端为单波长接口；混合波长接口作为路由器的外接口，单波长接口至少有 $N-1$ 个，每个单波长接口传输不同波长的光子信号，而 N 个光学器件的相同波长的单波长接口之间一对一地直接光学连接。

5、根据权利要求 4 所述的一种量子网络路由器，其特征在于当 N 为偶数时，所述光学器件的单波长接口相同，整个量子网络路由器所用波长总数为 $N-1$ ；当 N 为奇数时，任意两个光学器件的单波长接口有一个不同，且整个量子网络路由器所用波长总数为 N 。

6、根据权利要求 4 所述的一种量子网络路由器，其特征在于所述的光学器件是由集成或分立的色散及辅助无源光学器件组成。

7、根据权利要求 4 所述的一种量子网络路由器，其特征在于所述的光学器件是可逆波分复用器。

8、根据权利要求 4 所述的一种量子网络路由器，其特征在于所述的光学连接是采用光纤、波导、自由空间或其他光学介质连接。

9、根据权利要求 4 所述的一种量子网络路由器，其特征在于所述的光学连接在光路中可添加准直、耦合、反射镜光无源器件，以改善性光学连接性能。

10、根据权利要求 4 所述的一种量子网络路由器，其特征在于所述的整个量子网络路由器的所有部件，包括色散、准直、导向以及耦合器全部或部分集成在波导基片上。

说明书

量子网络寻址方法及量子网络路由器

技术领域

本发明涉及利用光传输技术进行网络通讯的寻址方法及装置，尤其是一种量子信息，包括量子通信和量子计算网络系统的寻址方法及装置。

背景技术

量子信息技术是 90 年代才正式开始研究的新科学领域，许多问题仍然在探索阶段，尚未大规模实用化，不存在与本发明相关的公开使用技术。根据经典网络信息技术的经验，量子网络信息也必将是量子通信的核心技术。同样的对比并考虑到量子通信的特点，量子网络系统必须满足这样一些基本性能要求：

1. 多用户性

两个以上的用户可同时在系统上交换信息或共享资源；

2. 可扩展性

用户数可以扩展，用户总数原则上不应受到限制；

3. 用户的独立性

它应该包括了两个方面：

其一：任一用户的存在和运行与否只影响与该用户有信息交换需求的用户，而不影响整个网络的运行；

其二：任何用户的运行不应该受到互通信息以外的用户的运行的影响，也即我们通常所说的无串扰和串台；

4. 网络中的每个用户应该有唯一的地址或内部编号（即经典网络中的 IP 地址），据此，网络上的任何用户可以轻易地区分并连接该用户以实现通讯，同时被连接用户也应可以唯一地确定正在同自己通讯的对象；

量子网络的特殊要求：

5. 网络系统必须保持量子相干性（接收测量除外），也即消相干过程尽可能弱，更不能有除接收测量以外的光电和电光转换过程；
6. 网络系统内部不能有量子信号的放大，这是量子不可克隆定理的基本要求。

对照上述条件，到目前为止，还没有完全符合该条件的量子网络结构原理和技术出现。进步最大的是量子密码的网络分配研究，已有的主要技术可归结为：

一、 树型网络结构：这种结构有两种运行模式，一种模式采用光纤分路器随机将调制单光子分发给多个接收者，通过量子密钥分配协议与多个接收者建立密钥。这种模式：①需要一个控制中心，所有网上其他用户信息都必须与控制中心分享，这在保密通信中有时是不可容忍的；②通讯效率与网络上终端数量成反比，极限通讯距离同步下降，可扩展性受到限制；另一种模式则采用波长寻址方式，即控制中心采用波长作为接收者的 IP，实现中心与任一用户间的密钥分配。这种运行方式解决了直接分路引起的效率降低的问题，但未能解决信息必须与控制中心分



享的安全问题；树型网络的另一个重要问题是，中心以外的用户之间不能够直接互通，所以这种方案不是严格意义的网络结构。

二、环型网络结构：这种网络结构将所有用户串成一条或多条互连的封闭的环线，环网中的任意两个终端用户运用一定的协议，通过控制中心的协助实现保密互通，且不必与网络控制中心分享秘密信息，但通讯过程仍需要中心的协助。这种结构：①所有用户终端都只能在一条或互通的多条环线上，终端所在的位置受到限制；②任意两个用户之间的平均通讯距离小于点对点极限通讯距离的 $1/2$ ，用户越多，近邻终端之间的距离就越短。这种网络结构已有三种不同的模式，第一种采用多用户直接串联^[3, 4]，改进的方式则采用了所谓空间光开关将多个小环串接起来，将每个用户通过空间光开关外挂在环上^[5]，原则上可以实现可变范围的量子网络，无论如何，这种网络中同时只能有一对用户工作；第二种则采用波长寻址原理^[2]，原则上多用户之间可以实现直接互通无需中心存在，且多用户组之间可以同时工作，但传输距离的限制仍然存在，而且所用波段数必须满足：

$$N=n \times (n-1)/2 \quad \text{其中，} N \text{ 为要用波段总数，} n \text{ 用户总数}$$

用户数量与所需的波段总数成平方关系，网络用户总数受到限制。

三、多粒子纠缠源模式：这种模式可以在多用户间实现量子态传输，不仅可以作为量子密钥分配网络，原则上可以作为广义量子信息网络的工作模式，但纠缠粒子数量与产生效率成负指数关系，而这种方案的用户数量与纠缠粒子数直接相关，所以，网络用户数量非常有限，可扩展性很差。

综上所述，目前还没有有一种网络结构和运行模式能够满足量子网络的基本要求。

发明内容

本发明的目的是提出一种量子网络寻址方法并由此构造出量子网络路由器，以该路由器为核心可以组成等权的多用户量子网络系统。

网络中包括至少三个节点，其特征在于：给定每个节点一个地址编号；从每个节点向其它各个节点发送不同波长的光子信号；该光子信号以信号源波长和节点地址共同作为寻址标记；所述的寻址标记由两部分构成，其中一部分由该节点发送的光子信号的波长取值决定，另一部分由该节点的地址编号决定；每个节点根据所接收的光子信号中的上述寻址标记确定信号的来源。

当网络节点数为奇数时，所述的信号源波长的个数为 N 个；当网络节点数为偶数时，所述的信号源波长的个数为 $N-1$ 个；其中的 N 为网络节点数。

所述的光子信号是光量子态信号，或者是经典光信号。

这种寻址方式能确定地将来自于网络不同节点具有不同波长的光子信号转接给特定的另外节点，而且这种传输在节点网络中是唯一的，传播方向也是可逆的，即任一节点都可以接收和发送光子信号，发送节点事先知道特定波长的光子信号是发给哪一个节点，接收节点可通过波长测量确定所接收的光子信号来自于哪一个节点。所述的节点网络可以有任意 N 个节点。

所述的光子信号可以是经典信号，如含有大量光子的强光脉冲，也可以是量子信号，如单光子或纠缠光子；所述光子的波长是指一个波长间隔。当信号为经典信号时，通信过程是经典通信，而当信号为光量子态时，所述通信为量子通信。

本发明给出一种实现上述寻址方法的量子网络路由器，它包括外接口和光子信号分配器，其特征在于光子信号分配器包括 N 个光学器件，其中的 N 为网络节点数；每个光学器件的一端为混合波长接口、另一端为单波长接口；混合波长接口作为路由器的外接口，单波长接口至少有 $N-1$ 个，每个单波长接口传输不同波长的光子信号，而 N 个光学器件的相同波长的单波长接口之间一对一地直接光学连接。

当 N 为偶数时，所述光学器件的单波长接口相同，整个量子网络路由器所用波长总数为 $N-1$ ；当 N 为奇数时，任意两个光学器件的单波长接口有一个不同，且整个量子网络路由器所用波长总数为 N 。例如，对于四节点路由器，所述光学器件相同，单波长接口均为三个，分别是 λ_1 , λ_2 , λ_3 ，路由器所用波长总数为三个；对于三节点路由器，所述光学器件的单波长接口均为两个，但波长均有一个不同，分别是：光学器件一为 λ_1 , λ_2 ；光学器件二为 λ_2 , λ_3 ；光学器件三为 λ_3 , λ_1 。路由器所用波长总数也为 3 个。

所述的光学器件可以由集成或分立的色散及辅助无源光学器件组成。

所述的光学器件可以是可逆波分复用器。

所述的光学连接可以采用光纤、波导、自由空间或其他光学介质连接。

所述的光学连接在光路中可添加准直、耦合、反射镜光无源器件，以改善性光学连接性能。

所述的整个量子网络路由器的所有部件，包括色散、准直、导向以及耦合器的可以全部或部分集成在波导基片上。

本发明量子网络路由器的上述内部连接满足图论中的边界染色理论，任意多节点网络路由器可以按此数学原理实现，对应关系为：边界染色理论中的一个顶点对应量子网络路由器的一个节点，每种边界染色对应一个波长，即上述光学器件的一个单波长接口。事实上，可以将奇数 N 节点量子网络路由器看成是偶数个 $N+1$ 节点量子网络路由器中的一个节点未用或没有连接的特例。

所述光子信号可以从一个节点传向另一个节点，反向传输也同样可行。

所述的可逆波分复用器是由色散元件加前后准直以及输出输入耦合器组成，其中色散元件可以是滤光片、光栅、色散棱镜。

本发明的量子网络路由器。它能够完成：接收所有节点同时传来的携带信息的不同波长的光子信号，以分波、合波再组合的方式，将其他各节点要传给同一节点的不同波长的光子信号合波后传送给指定的节点。这些信号可以再通过一条与该节点相连的干线光路传输给特定的网络用户。这种路由器的工作方式不会破坏它传送的量子态及其相干性，信号间也不产生互相干扰，且路由导向在整个网络中是唯一的，不会出现导向重叠和信号遗失现象，用户通过简单测量就能知道信号的准确来源。所有这些都满足网络的基本要求。

所有这些功能等效于经典网络通讯中的路由功能或计算机网络中的寻址功能。此方法构成的量子网络路由器原则上可以有任意 N 个节点，与 N 路干线光路连接构成 N 路量子网络系统。

本发明提出的量子网络寻址方法和量子网络路由器，以量子态的发出节点和波长共同作为寻址标记，给出了一种以此寻址方法为原理而构造的量子网络元件，可以满足量子网络路由的基本要求。

用本发明构成的量子通信网络具有这样一些优点：

- 1、采用路由器作为量子网络的信息交换和导向中心，其网络结构与用户相对独立；使量子网络可以完全类比于经典网络，系统布局与操作可以分别考虑，规范化处理。
- 2、路由器节点数可扩展：本发明中的路由器所用的复用波长总数小于或等于节点总数，频段利用率高。原则上波段可以任意细分和再复用，路由器节点总数也可以任意扩展。就目前的技术条件而言，节点总数就可以达到 150 以上，是其他方案的 3 倍以上。
- 3、节点之间的通讯以不同波长进行，频道相互之间隔离，隔离度仅由波分复用的隔离度决定，串扰很低，且各频道之间不相互争夺信息资源，通讯效率不受节点总数的影响。
- 4、路由附加损耗低，本发明中的路由器对每个频道附加的损耗在 2dB 以下。
- 5、利用本发明可以实现真正网络意义上的量子通信，包括量子密钥分配、量子态的网络传输（广义量子通信），构成量子计算机寻址总线或量子计算机网络等。

- 6、 由于量子网络是在经典网络基础上附加限制而来，本量子网络路由器可直接作为经典通讯中的全光波长路由器，实现经典网络通讯中的静态网络路由功能。

附图说明

图 1 是一种由商用波分复用器组成的 4 节点量子网络路由器的内部构造示意图。

图 2 是一种由商用波分复用器组成的 3 节点量子网络路由器的内部构造示意图。

图 3 是一种分立元件直接组成的 4 节点量子网络路由器的内部构造示意图。

图 4 是一种集成 4 节点量子网络路由器的内部构造示意图。

图 5 是三节点量子网络路由器的 IP 地址表。

图 6 是四节点量子网络路由器的 IP 地址表。

具体实施方式

一、 量子网络路由器的结构

1、量子网络路由器可以用商用波分复用器按照本发明的原理构造而成。一个典型的四节点量子网络路由器内部构造如图 1 所示，虚线内部为路由器的内部构造。图 1 中 1-1~1-4 为相同的商用三通道波分复用器，波长分别是 λ_1 ， λ_2 ， λ_3 。其中波长位置（实际是一定范围的波段）与间隔只要达到干线光路的损耗要求和足够的隔离度即可；2-1~2-6 是相同波长频道单波长接口之间的光学连接，它们可以是单模光纤器件、分离器

件或光波导组成的光路;3-1~3-4 为量子网络路由器节点的混合波长接口,通过干线光路将节点可与用户之间连接起来。

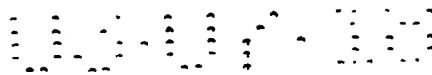
图 2 为三节点量子网络路由器的内部结构,其中 4-1~4-3 为波分复用器,与四节点所用的波分复用器不同的是,这三个波分复用器的复用波长相互之间都有一个不同,其中 4-1 为 λ_1 、 λ_2 ,4-2 为 λ_2 、 λ_3 ,而 4-3 为 λ_3 、 λ_1 ,整个路由器所用的波长总数仍为三个。图中 5-1~5-3 为相同波长单波长接口间的光学连接线,它们可以是单模光纤器件、分离器件或波导组成的光路。6-1~6-3 为量子网络路由器节点的混合波长接口,通过干线光路可以连接用户。事实上,这种三节点路由器可以看成是图 1 中的四节点路由器的一个节点以及与它连接的所有光学连接被取消后的特殊情况。

在图 1 中如果将波分复用器 1-2 以及与它相关的 2-2、2-5、2-6 光学连接全部取消(或弃置),则图 1 中的四节点路由器就变成为图 2 中的三节点路由器。由此推广开来,任何偶数 N 节点的路由器均可以去掉(或弃置)其中的一个节点,而直接变成 $N-1$ 奇数节点的路由器。

任意 N 节点的路由器均可以按上述原则采用波分复用器构造而成,其中奇数节点按图 2 方式扩展,而偶数节点路由器按图 1 方式扩展。

2、分立光学元件独立组成的四门量子网络路由器

量子网络路由器可采用分立无源光学元件直接组成,不需要先组成波分复用器,再构造成量子网络路由器。这种组成中 N 节点路由器需要 N 个光色散元件和辅助光线导向机构组成,例如:分光三棱镜、耦合、准直和反射镜等无源光学元件或其他光路折变耦合器件组成。这里给出



四节点分立光学元件组成的量子网络路由器装置内部结构图。

图 3 中，7-1~7-4 为色散元件，作用是将不同波长的光分开，实现分波和逆向合波的功能，它们可以是三棱镜、滤光片或光栅等色散元件；8-1~8-4 以及 9-1~9-4 为前后准直系统，起光线准直和聚焦等辅助作用；10-1~10-4 为光线导向元件，作用是将特定波长的光线导向特定的色散器件；11-1~11-4 为路由器节点输入输出耦合器，通过干线光路与网络用户直接连接。

3、集成光学量子网络路由器

量子网络路由器也可构成集成光学器件，其中 N 节点路由器由 N 个集成光色散元件和导向传输光波导组成。

图 4 中仍然以四节点量子网络路由器为例，其中 12-1~12-4 为集成分布式光栅，将来自最近节点入射的多波长信号分解成单色信号，同时也将反向传来的单色信号结合成多色信号传向最近节点；13-1~13-2 为单色光的导向传输波导，将色散后的单色光线传向下一个色散光栅；14-1~14-4 为路由器的混合波长接口，通过它与干线光路直接连接到用户。

一个量子网络路由器确定以后，每一个节点都有一个唯一确定的 IP 表，与该节点连接的用户可以按照此 IP 表在网络中寻找另外唯一的用户节点，并与其完成量子通信过程。图 5 和图 6 分别给出了三节点和四节点量子网络路由器各节点之间的 IP 地址表。对于四个以上的多节点量子网络路由器，一样存在这样一个 IP 地址表。其中奇数节点的 IP 表与表一类似，偶数节点的 IP 表与表二类似。

说明书附图

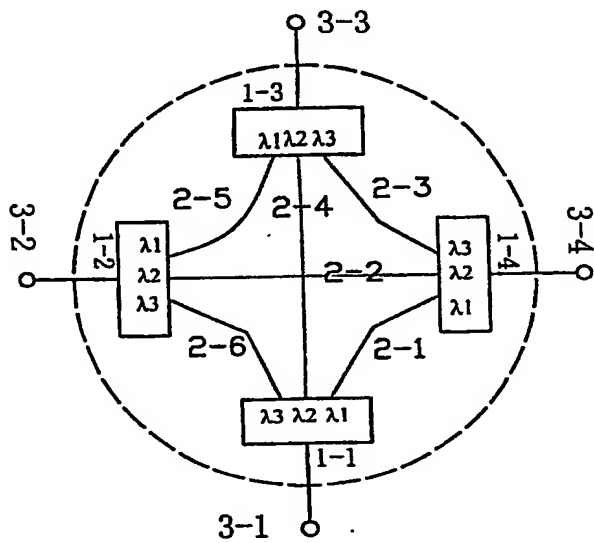


图1

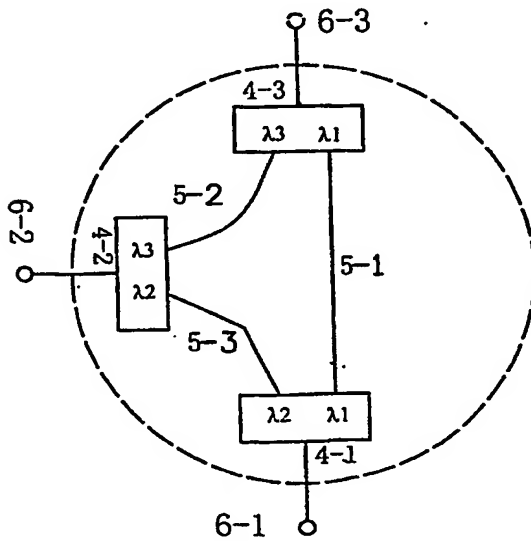


图2

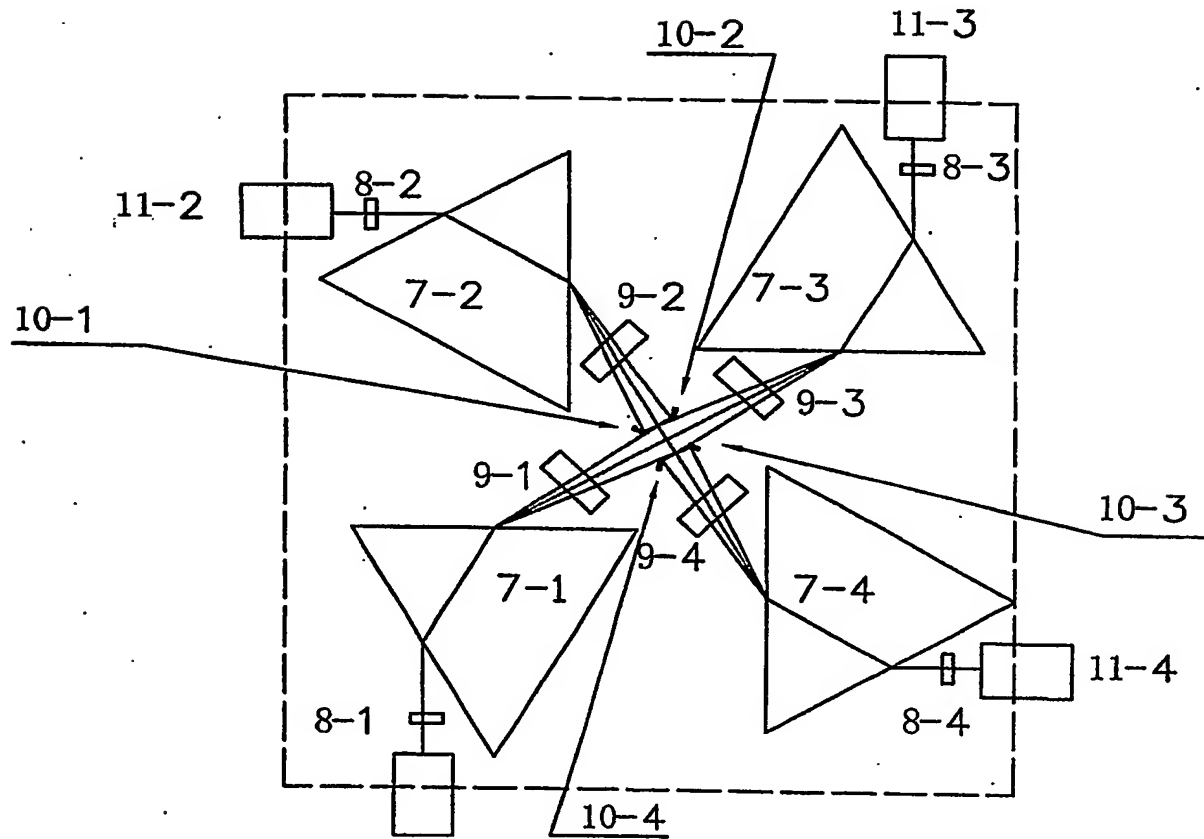


图3

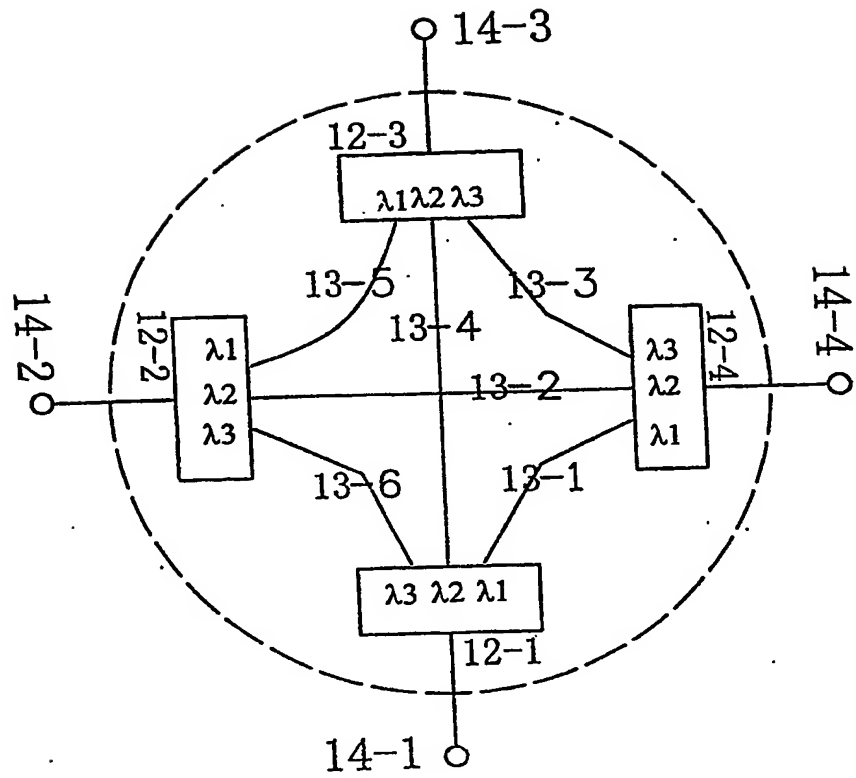


图 4

	节点 1	节点 2	节点 3
节点 1		λ_2	λ_1
节点 2	λ_2		λ_3
节点 3	λ_1	λ_3	

图 5

	用户 1	用户 2	用户 3	用户 4
用户 1		λ_1	λ_2	λ_3
用户 2	λ_1		λ_3	λ_2
用户 3	λ_2	λ_3		λ_1
用户 4	λ_3	λ_2	λ_1	

图 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.